

胶州湾小型底栖动物丰度、生物量及环境因子的研究*

祝琳¹, 陈晨¹, 杨湘君², 崔雯瑶³, 邵聪聪¹, 滕安康¹, 于子山^{1**}

(1. 中国海洋大学海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 2. 山东省海洋科学研究院, 山东 青岛 266100;

3. 中国科学院昆明动物研究所, 云南 昆明 650201)

摘要: 为了进一步对胶州湾小型底栖动物有全面地了解, 本研究于2018年春季(5月)对胶州湾15个站位进行了小型底栖动物调查取样, 研究了小型底栖动物的类群组成、丰度和生物量, 同时对这三个参数同沉积环境因子的关系进行了探讨。主要结果如下: 研究海域共分选出16个小型底栖动物类群, 无论从丰度还是生物量, 都以线虫为最优势类群; 小型底栖动物的平均丰度为 (89.689 ± 43.007) ind. $\cdot$ cm⁻², 平均生物量为 (104.652 ± 42.706) μ g $\cdot$ cm⁻², 其分布都呈现出胶州湾北部高、南部低的特点; 小型底栖动物分布在沉积物表层(0~2 cm)、中层(2~5 cm)和底层(5~8 cm)的比例依次减小, 丰度占总丰度的比例分别为47.73%、32.24%和20.03%; Pearson相关性结果显示, 小型底栖动物的总丰度、线虫以及桡足类的丰度均同Chl *a*含量呈显著正相关。综合线虫同桡足类丰度之比以及其他相关研究资料, 以指示研究海域沉积环境整体优良。

关键词: 小型底栖动物; 类群组成; 丰度; 生物量; 环境因子; 胶州湾

中图法分类号: Q958.8

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2024)04-069-09

DOI: 10.16441/j.cnki.hdxh.20220169

引用格式: 祝琳, 陈晨, 杨湘君, 等. 胶州湾小型底栖动物丰度、生物量及环境因子的研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2024, 54(4): 69-77.

Zhu Lin, Chen Chen, Yang Xiangjun, et al. Study on the abundance, biomass and environmental factors of meiofauna in Jiaozhou Bay[J]. Periodical of Ocean University of China, 2024, 54(4): 69-77.

小型底栖动物是指分选时能通过0.500 mm孔径的网筛, 但被0.031 mm孔径网筛所截留的一类底栖动物^[1]。其作为微型底栖动物和大型底栖动物的中间环节, 在整个底栖生态系统中的物质循环和能量流动过程中起着承上启下的作用^[2]; 此外, 小型底栖动物具有野外采样简便、物种丰富度高(比大型底栖动物高一个数量级)、生活周期短(每年平均3~5代)、生活史中无浮游阶段等特点, 使其成为许多生态学家所青睐的研究对象^[3-4]。

胶州湾是中国海湾生态研究的典型区域。关于胶州湾小型底栖动物的研究, 始于张志南等^[5]对胶州湾北部软底的小型底栖动物丰度的报道。张艳对胶州湾北部软底区的一个典型站位^[6]以及红岛泥滩潮间带^[7]的小型底栖动物进行了研究。杨世超等^[8]报道了冬季胶州湾内2个站位及邻近山东半岛南岸12个站位小型底栖动物的丰度和生物量。纪莹璐^[9]报道了胶州

湾西北部海域小型底栖动物丰度和生物量及季节变化。Gao等^[10]报道了胶州湾小型底栖动物的时空分布及同环境因子的关系。高群^[11]对胶州湾中部区域以及潮间带的小型底栖动物的丰度和生物量进行了研究。上述这些研究大多都局限于胶州湾的一部分区域, 鉴于此, 本研究中扩大了研究覆盖面, 对2018年5月在胶州湾全水域设置了15个站位, 对小型底栖动物和环境因子数据进行收集, 以对小型底栖动物展开类群组成、丰度和生物量以及这三个参数同环境因子关系的研究, 以期能对整个胶州湾的小型底栖动物有较全面的了解, 并为该海域底栖生态学的深入研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究海域

于2018年5月4日和5日对胶州湾设置的15个站位进行调查取样(见图1), 调查船为“天使1号”。

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(41976100)资助

Supported by the National Natural Science Foundation Project(41976100)

收稿日期: 2022-03-20; 修订日期: 2022-04-18

作者简介: 祝琳(1997—), 女, 硕士生, 研究方向为海洋底栖生物生态学。E-mail: 805531826@qq.com

** 通信作者: 于子山(1963—), 男, 硕士, 副教授。E-mail: yu_zishan@ouc.edu.cn

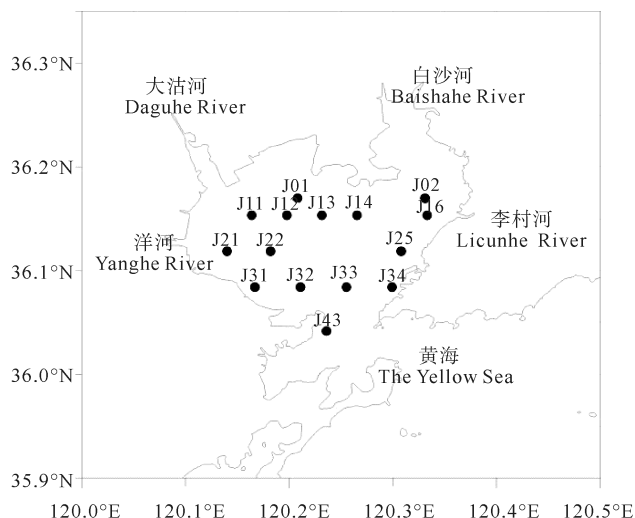


图1 胶州湾小型底栖动物调查取样站位图

Fig. 1 Map of the sampling stations of meiofauna in Jiaozhou Bay

表1 小型底栖动物的个体平均干质量换算系数

Table 1 Transformation coefficients of individual average dry weight of meiofaunal taxon

类群 Taxon	个体平均干质量/ μg Individual average dry weight
线虫 Nematoda	0.4
桡足类 Copepoda	1.86
多毛类 Polychaeta	14
双壳类 Bivalvia	4.2
介形类 Ostracoda	26
涡虫类 Turbellaria	3.5
缓步类 Tardigrada	3.5
甲壳类幼体 Crustacean larvae	0.11
动物类 Kinorhyncha	2
涟虫 Cumacea	3.5
轮虫 Rotifera	3.5
海螵类 Halacaroidea	1.5
等足类 Isopoda	15
枝角类 Cladocera	26
纽虫 Nemertina	3.5
其他类群 Others	3.5

2 结果

2.1 沉积环境

研究海域的环境因子如表2所示。研究海域的平均水深为11.1 m,水深由北向南逐渐增大,在湾口附近站位的水较深,最深处在J32站位,为29.7 m;最浅处是在北部的J02站位,仅为6.0 m。平均底温为13.77℃,呈现湾外向湾内减小的趋势。平均底盐31.82,最高值在J01站位,为32.22,最低值为30.95,出现在J16站位。Chl *a* 含量的平均值为0.59 $\mu\text{g/g}$,胶州湾北部的Chl *a* 含量比南部的高,最高值出现在北部的J16站位,高达1.23 $\mu\text{g/g}$;最低值出现在J33站位,仅为0.21 $\mu\text{g/g}$ 。有机质含量平均值为1.78 mg/g,湾口附近的J43站位最高,为3.23 mg/g;最低值出现在J01站位,仅为1.05 mg/g。湾北部的沉积物类型多为砂质粉砂,湾口附近海域颗粒变粗,出现了粉砂质砂和砾质泥质砂。

2.2 小型底栖动物的类群组成、丰度和生物量

本研究共分选出16个小型底栖动物类群(见表3),包括自由生活海洋线虫(Nematoda)(以下简称线虫)、底栖桡足类(Copepoda)(以下简称桡足类)、多毛类(Polychaeta)、涡虫类(Tubellaria)、轮虫(Rotifera)、介形类(Ostracoda)、动物类(Kinorhyncha)、枝角类(Cladocera)、甲壳类幼体(Nauplii)、纽虫(Nemertina)、双壳类(Bivalvia)、海螵(Halacaroidea)、涟虫(Cumacea)、缓步类(Tardigrada)、等足类(Isopoda)和其他类群。

1.2 取样方法及样品处理

现场用0.05 m²的箱式采泥器采沉积物样。使用内径为2.9 cm的采样管(由注射器改制),在表面未受扰动的沉积物中随机取3管芯样(芯样深度为8 cm),每管芯样按0~2、2~5和5~8 cm分层瓶装,加入等体积的10%福尔马林溶液固定,用于小型底栖动物室内分析;以同样方式取3管芯样,相应分层后分别装入封口袋,−20℃冷冻保存,用于沉积物叶绿素*a* (Chlorophyll *a*, Chl *a*)含量测定;另取沉积物表层样各1袋,−20℃冷冻保存,以测定沉积物有机质和粒度。

沉积物中:Chl *a* 含量的测定采用荧光分光光度法;有机质含量的测定采用重铬酸钾-硫酸氧化法,进而得到有机质含量(有机碳含量 $\times 1.724$)^[12];沉积物粒度利用激光粒度分析仪测定;水深、底温及底盐由缆式线型感温(Cable thermal detector, CTD)探测器现场测得。

1.3 数据处理与分析

1.3.1 小型底栖动物的丰度 用单位面积所包含的个体数来表示小型底栖动物的丰度(单位:ind. $\cdot \text{cm}^{-2}$):

$$\text{丰度} = \text{个体数} / (3.14 \times 1.45 \times 1.45)。$$

1.3.2 小型底栖动物的生物量 小型底栖动物的生物量=数量 $\times$ 个体平均干质量。根据文献[9,13-15]中小型底栖动物不同类群的个体平均干质量,将各类群的平均个体干质量进行总结(见表1)。

1.3.3 相关性分析 利用SPSS22.0软件进行相关性分析。

表 2 海域环境因子调查数据

Table 2 Survey data of marine environment factors

站位 Station	水深 Depth/m	底温 Bottom temperature/°C	底盐 Bottom salinity	Chl <i>a</i> 含量 Chl <i>a</i> content /($\mu\text{g/g}$)	有机质含量 Organic matter content/(mg/g)	平均粒径 Average grain size/mm	中值粒径 Median diameter /mm
J01	8.6	13.73	32.22	0.28	1.05	0.028	0.030
J02	6.0	15.62	30.99	0.55	1.89	0.013	0.015
J11	7.0	13.80	31.78	0.68	1.21	0.016	0.017
J12	10.1	13.63	31.94	0.70	1.49	0.017	0.022
J13	7.1	14.19	31.75	0.80	1.44	0.018	0.023
J14	6.8	14.60	31.88	0.91	1.94	0.017	0.018
J16	8.0	15.13	30.95	1.23	2.78	0.016	0.020
J21	9.0	14.80	32.05	0.41	1.23	0.014	0.015
J22	8.0	13.71	31.80	0.37	1.49	0.016	0.018
J25	8.6	14.43	31.61	0.52	2.07	0.016	0.020
J31	10.8	13.99	32.19	0.44	1.19	0.035	0.049
J32	29.7	12.25	32.04	0.46	1.89	0.018	0.020
J33	21.6	11.90	31.99	0.21	1.64	0.398	350.000
J34	15.0	12.76	32.09	0.75	2.21	0.010	0.011
J43	10.0	11.98	31.96	0.59	3.23	0.021	0.030
平均值 Mean	11.1	13.77	31.82	0.59	1.78	0.044	23.350

表 3 研究海域小型底栖动物各类群的丰度和生物量

Table 3 Abundance and biomass of each meiofaunal taxon in surveyed area

类群 Taxon	丰度 Abundance /(ind. $\cdot \text{cm}^{-2}$)	丰度占比 Proportion of abundance/%	生物量 Biomass /($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)	生物量占比 Proportion of biomass/%
线虫 Nematoda	77.547 $\pm$ 40.008	86.460	31.019 $\pm$ 16.003	29.640
桡足类 Copepoda	5.500 $\pm$ 2.515	6.132	10.230 $\pm$ 4.678	9.776
多毛类 Polychaeta	1.606 $\pm$ 0.927	1.790	22.479 $\pm$ 12.973	21.479
涡虫类 Turbellaria	1.511 $\pm$ 1.215	1.685	5.290 $\pm$ 4.252	5.055
轮虫 Rotifera	1.087 $\pm$ 1.277	1.212	3.805 $\pm$ 4.470	3.636
介形类 Ostracoda	0.845 $\pm$ 0.720	0.942	21.967 $\pm$ 18.722	20.990
动吻类 Kinorhyncha	0.370 $\pm$ 0.424	0.413	0.741 $\pm$ 0.847	0.708
枝角类 Cladocera	0.256 $\pm$ 0.176	0.285	6.651 $\pm$ 4.584	6.356
甲壳类幼体 Crustacean larvae	0.249 $\pm$ 0.147	0.278	0.027 $\pm$ 0.016	0.026
纽虫 Nemertina	0.098 $\pm$ 0.083	0.109	0.342 $\pm$ 0.292	0.326
双壳类 Bivalvia	0.081 $\pm$ 0.101	0.090	0.339 $\pm$ 0.423	0.324
海蛭 Halacaroidea	0.071 $\pm$ 0.080	0.079	0.106 $\pm$ 0.120	0.101
涟虫 Cumacea	0.037 $\pm$ 0.057	0.041	0.130 $\pm$ 0.199	0.124
缓步类 Tardigrada	0.007 $\pm$ 0.017	0.007	0.003 $\pm$ 0.009	0.003
等足类 Isopoda	0.003 $\pm$ 0.013	0.004	0.050 $\pm$ 0.189	0.048
其他类群 Others	0.421 $\pm$ 0.526	0.469	1.473 $\pm$ 1.842	1.407
总计 Total	89.689 $\pm$ 43.007	100.000	104.652 $\pm$ 42.706	100.000

小型底栖动物的平均丰度为 (89.689 ± 43.007) ind. $\cdot$ cm $^{-2}$ 。其中:线虫为最优势类群,平均丰度为 (77.547 ± 40.008) ind. $\cdot$ cm $^{-2}$,占小型底栖动物总丰度的86.463%;桡足类的优势其次,占小型底栖动物总丰度的6.132%。线虫和桡足类的丰度总和占小型底栖动物总丰度的92.595%。小型底栖动物的平均生物量为 (104.652 ± 42.706) μ g $\cdot$ cm $^{-2}$,位居首位的依然是线虫,其生物量为 (31.019 ± 16.003) μ g $\cdot$ cm $^{-2}$,占总生物量的29.640%。

2.3 小型底栖动物丰度的空间分布

2.3.1 水平分布 小型底栖动物的丰度分布如图2所示。其中:丰度最高值出现在J13站位,平均丰度为 (182.979 ± 25.180) ind. $\cdot$ cm $^{-2}$,其附近的J12和J14站位也有较高的丰度;湾口附近J33站位的小型底栖动物丰度最低,为 (25.245 ± 10.280) ind. $\cdot$ cm $^{-2}$ 。小型底栖动物的平均丰度呈现出北部高、南部低的特点。

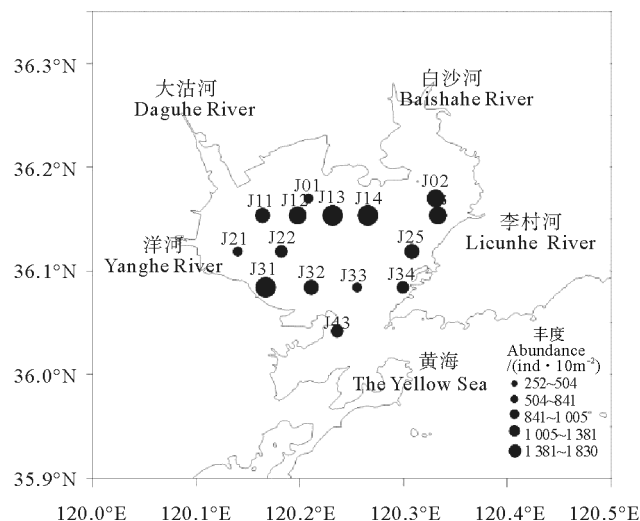


图2 研究海域小型底栖动物丰度分布

Fig. 2 Distribution of abundance of meiofauna in surveyed area

研究海域的15个站位均以线虫为第一优势类群(见图3),其中:J13站位的线虫占比最高(91.060%);J34站位的线虫占比最低(73.674%),原因是该站位第二优势类群桡足类占比达到21.321%。

2.3.2 垂直分布 小型底栖动物主要分布在沉积物表层0~2 cm,该层小型底栖动物的平均丰度为 (42.810 ± 29.316) ind. $\cdot$ cm $^{-2}$,占总丰度的47.731%;中层2~5 cm和底层5~8 cm的小型底栖动物分别占总丰度的32.242%和20.026%。本研究0~5 cm芯样的取样效率可达79.973%。

大多数站位的小型底栖动物主要分布在沉积物表层0~2 cm,其丰度占比最高的为J31站位(75%);J11、J22和J33站位在中层2~5 cm处有较高的丰度。

大多数小型底栖动物类群主要分布在表层0~2 cm,轮虫和缓步类主要分布在2~5 cm层。线虫作为小型底栖动物中的优势类群,分布于沉积物表层0~2 cm处,其丰度占总丰度的45.308%,且线虫丰度变化同小型底栖动物丰度趋于一致。桡足类主要分布在沉积物表层0~2 cm内,其丰度占比达到78.641%(见图4)。

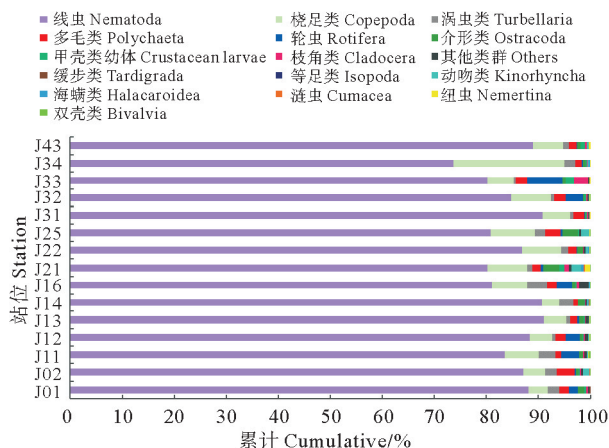


图3 研究海域小型底栖动物各类群丰度累计百分比

Fig. 3 Cumulative percentage of each meiofauna taxon in surveyed area

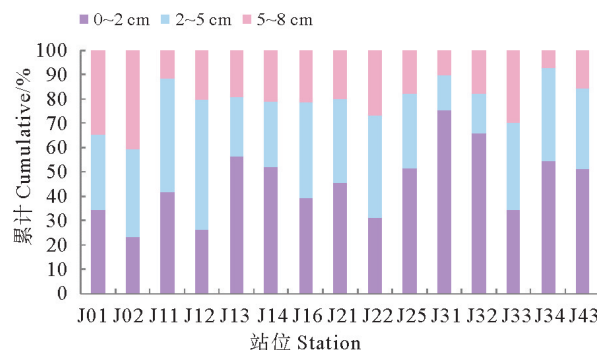


图4 研究海域小型底栖动物丰度垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of abundance of meiofauna in surveyed area

2.4 小型底栖动物丰度与环境因子的相关性分析

本研究将小型底栖动物的总丰度、线虫及桡足类丰度同环境因子数据进行 Pearson 相关性分析,结果见表4。由表4可以看出,小型底栖动物总丰度、线虫丰度及桡足类丰度,均同 Chl *a* 含量呈显著正相关,同其他环境因子均无显著相关性。

2.5 线虫同桡足类丰度之比

本研究小型底栖动物、线虫和桡足类丰度及线虫同桡足类丰度之比见表5。本研究海域所有站位的线虫丰度同桡足类丰度之比的平均值为15.49,其最高值出现在J14站位,为26.69;最低值出现在J34站位,仅为3.46。

表 4 小型底栖动物丰度与环境因子的相关性分析

Table 4 Results of correlation between meiofaunal abundance and environmental factors

参数 Parameter	水深 Depth/m	底温 Bottom temperature /℃	底盐 Bottom salinity	Chl <i>a</i> 含量 Chl <i>a</i> content/ (μg/g)	有机质含量 Organic matter content/(mg/g)	平均粒径 Average grain size/mm	中值粒径 Medium grain size/mm
小型底栖动物总丰度 Total abundance of meiofauna/(ind. • cm ⁻²)	−0.339	0.397	−0.289	0.567*	0.012	−0.391	−0.400
线虫丰度 Nematode abundance/(ind. • cm ⁻²)	−0.339	0.377	−0.244	0.523*	−0.019	−0.370	−0.383
桡足类丰度 Copepod abundance/(ind. • cm ⁻²)	−0.003	0.074	−0.165	0.541*	0.275	−0.464	−0.450

注: * : 相关性在 0.05 层上显著(双尾)。*:Correlation was significant at 0.05 level(double-tailed).

表 5 本研究小型底栖动物、线虫和桡足类丰度及线虫同桡足类丰度之比

Table 5 Abundances of meiofauna, nematodes and copepods and the abundance ratio of nematodes to copepods in surveyed area

站位 ^①	小型底栖动物 总丰度 ^② /(ind. • cm ⁻²)	线虫丰度 ^③ /(ind. • cm ⁻²)	桡足类丰度 ^④ /(ind. • cm ⁻²)	线虫同桡足类 丰度之比 ^⑤
J01	25.295	22.266	0.959	23.22
J02	100.578	87.602	4.292	20.41
J11	98.306	82.048	6.463	12.70
J12	112.544	99.417	4.847	20.51
J13	182.979	166.620	7.675	21.71
J14	138.194	125.318	4.696	26.69
J16	106.990	86.743	7.271	11.93
J21	38.575	30.951	2.928	10.57
J22	72.202	62.710	5.352	11.72
J25	92.802	75.080	7.776	9.66
J31	141.425	128.499	7.321	17.55
J32	84.118	71.293	6.513	10.95
J33	25.245	20.247	1.262	16.04
J34	50.440	37.161	10.755	3.46
J43	75.635	67.254	4.393	15.31

注:①Station; ②Total abundance of meiofauna; ③Nematode abundance; ④Copepod abundance; ⑤Abundance ratio of nematodes to copepods.

3 讨论

3.1 本研究结果与历史资料的对比

本研究结果与历史资料的对比见表 6。本研究中所有小型底栖动物的平均丰度小于以往研究结果,这可能同每项研究的采样时间、站位分布和分选网筛孔径不同等因素有关。本研究鉴定出小型底栖动物类群数较多,线虫和桡足类分别为第一和第二优势类群,同张艳^[6]、杨世超^[8]和纪莹璐^[9]等报道的结果相同。

3.2 环境因子对小型底栖动物丰度的影响

不同环境中,影响小型底栖动物的主要环境因素不同。比如在河口软泥地区,影响小型底栖动物丰度的因素是沉积物颗粒的大小、盐度和温度;而在潮下带地区,底层环境相对稳定,小型底栖动物则主要受摄食、生物扰动和洋流的影响^[16]。沉积物类型、含水量、温度、盐度和底栖微藻丰度等都是影响小型底栖动物的重要因素。

表 6 本研究小型底栖动物丰度与历史资料对比

Table 6 The comparison of results between this study with the historical studies in surveyed area							
研究海域 Suvey area	采样时间 Sampling time	网筛孔径 Mesh size /mm	小型底栖动物丰度 Abundance /(ind. · cm ⁻²)	类群数 Taxon number	线虫占比 Proportion of nematode/%	桡足类占比 Proportion of copepods/%	参考文献 Reference
胶州湾北部 Northern Jiaozhou Bay	1995 年 5 月—1996 年 1 月	0.048	151.000	14	86.60	5.70	[5]
胶州湾典型站位 Typical Station in Jiaozhou Bay	2003—2004 年	0.031	188.900	17	95.40	2.20	[6]
胶州湾及邻近山东半岛 Jiaozhou Bay and its adjacent Shandong Peninsula	2006 年 12 月	0.061	91.543	16	86.50	5.23	[8]
胶州湾红岛泥滩(低潮区) Muddy intertidal zone of Hongdao Jiaozhou Bay(low tidal zone)	2010 年 3 月	0.005	166.246	6	82.80	14.30	[7]
胶州湾红岛泥滩(中潮区) Muddy intertidal zone of Hongdao Jiaozhou Bay(middle tidal zone)	2010 年 3 月	0.005	80.189	6	80.40	17.70	[7]
胶州湾西北部 Northwest of Jiaozhou Bay	2011 年 3 月	0.031	274.300	16	89.50	7.50	[9]
胶州湾西北部 Northwest of Jiaozhou Bay	2011 年 7 月	0.031	216.610	11	97.90	0.60	[9]
胶州湾西北部 Northwest of Jiaozhou Bay	2011 年 10 月	0.031	313.840	14	95.50	2.10	[9]
胶州湾西北部 Northwest of Jiaozhou Bay	2011 年 12 月	0.031	111.430	13	87.90	3.30	[9]
胶州湾 Jiaozhou Bay	2014 年 2 月	0.031	91.230	20	95.99	2.59	[10]
胶州湾 Jiaozhou Bay	2014 年 5 月	0.031	157.640	20	95.99	2.59	[10]
胶州湾 Jiaozhou Bay	2014 年 8 月	0.031	107.460	20	95.99	2.59	[10]
胶州湾 Jiaozhou Bay	2014 年 11 月	0.031	215.240	20	95.99	2.59	[10]
胶州湾(中部和潮间带) Jiaozhou Bay(central and intertidal zone)	2015 年夏和 2016 年夏	0.042	265.100	11	95.70	2.80	[11]
胶州湾 Jiaozhou Bay	2018 年 5 月	0.031	89.689	16	86.46	6.13	本研究

本研究通过对小型底栖动物的总丰度、线虫及桡足类丰度同环境因子数据的 Pearson 相关性分析(见表 4)得出,小型底栖动物的总丰度、线虫丰度及桡足类丰度,均同 Chl *a* 含量呈显著正相关。即 Chl *a* 含量越大,丰度值也越大,这同很多研究结果相一致^[17-20]。沉积物中的 Chl *a* 含量是由浮游藻类沉降到底层和底栖硅藻形成的,因而可预示初级生产力的状况以及小型底栖动物的食物来源^[21]。在本研究中,各站位 Chl *a* 含量与小型底栖动物的丰度分布趋势基本一致,都呈现出北部高、南部低的特点。小型底栖动物以底栖硅藻为食^[22],春季光照和温度以及较高营养盐水平平均适宜,使得藻类快速从底泥中复苏,大量繁殖^[17],为更多的小型底栖动物提供食物,从而使小型底栖动物的丰度升高。

由表 6 还可知,本研究中的桡足类的丰度占比要稍高于其他季节,原因可能是春季胶州湾内的 Chl *a* 含量较其他季节高^[23],大多数桡足类通常以藻类为食,丰富的食物导致桡足类的增多,占比增大^[23]。由本研究桡足类丰度同 Chl *a* 含量呈显著正相关性(见表 5),也确认了这一原因。

3.3 线虫同桡足类丰度之比与有机质污染环境的评价

线虫和桡足类是小型底栖动物中最主要的两个类群,它们对环境扰动和对有机质污染的耐受力不同,桡足类对有机质污染的敏感程度较高,而线虫在有机质污染的沉积物中依然可以保持较高的丰度,因此可将两个类群的丰度之比作为指示海洋有机质污染的指标^[24-25]。一般认为,当线虫同桡足类丰度之比值小于 50 时,表示沉积环境质量优良,未受扰动;当线虫同桡足类丰度之比值在 50~100 之间时,表示沉积环境处于富营养化状态;当线虫同桡足类丰度之比值大于 100 时,表示沉积环境中存在有机质污染^[26-27]。虽然该值的使用还存在一定的争议,但仍被广泛应用于一些海域的研究^[28-31]。

本研究各站位的线虫同桡足类丰度之比值见表 5。本研究海域全部站位的线虫同桡足类丰度之比值小于 50,这指示胶州湾海域没有受到污染。所有站位的有机碳含量也均未超过 2%,低于国家沉积物质量一类标准(2%),与线虫同桡足类丰度之比值指示的结果一致。但是在对比各站位线虫同桡足类丰度之比值和有机碳含量时,线虫同桡足类丰度之比值呈现北部高、南部低的特点,而有机碳含量则是湾东部高、西部低,两者的分布趋势并不相同,表明利用线虫同桡足类丰度之比值来监测有机质污染会存在局限性。

在自然状态下,线虫和桡足类的丰度同沉积物类型、食物来源、有机质含量和自身繁殖等诸多因素有关,其丰度大小会随着时间和空间等的变化而波动^[28]。

例如桡足类可能因对砂质底质的偏好(非环境质量差异)而造成相对数量的增加,从而降低了线虫同桡足类丰度之比值,掩盖了真实环境质量状况^[32]。因此,根据线虫同桡足类丰度之比值评价环境质量时,须慎重考虑其可否作为一个参考指标。另外,要参考其他因子如有机碳的含量、沉积物粒度和食物来源等因素进行综合评估。

崔雯瑶等^[33]通过利用丰度生物量比较曲线(Curve of abundance and biomass comparison)、摄食均匀度指数以及香农威纳多样性指数等方法,对同本研究同步获得的大型底栖动物数据进行分析,以对沉积环境质量进行评价,结果是仅 J16 站位受到中度扰动,其余站位未受扰动,与本研究基本一致。陈晨等^[22]利用多毛类机会种和端足类构建的多毛类机会种和端足目动物指数(Benthic opportunistic polychaetes amphipods index, BOPA)指数,对与本研究同步获得的大型底栖动物的数据进行分析,结果也是沉积环境质量状况优,未受扰动,同本研究基本一致。胡睿等^[34]利用表层沉积物的 7 种重金属元素元素(Hg、Cd、Pb、Zn、Cu、Cr、As)对胶州湾进行风险评价,研究表明,7 种重金属元素总体在表层沉积物中污染程度属于清洁或轻度污染,进而说明其潜在生态风险程度较低。

综上所述,本研究的海域沉积环境整体优良。

4 结论

(1)本研究共分选出 16 个小型底栖动物类群,小型底栖动物的平均丰度为 $(89.689 \pm 43.007) \text{ ind.} \cdot \text{cm}^{-2}$,平均生物量为 $(104.652 \pm 42.706) \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。平均丰度和生物量都呈现出北部高、南部低的特点,分布在沉积物表层(0~2 cm)、中层(2~5 cm)和底层(5~8 cm)的小型底栖动物的总丰度占比分别为 47.73%、32.24%和 20.03%。

(2)线虫和桡足类为本研究海域小型底栖动物的优势类群。

(3)Chl *a* 含量是影响研究海域小型底栖动物的总丰度、优势类群(线虫以及桡足类)的丰度的最重要的环境因子。

(4)研究海域沉积环境整体优良。

参考文献:

- [1] 沈国英,施并章. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 53.
Shen G Y, Shi B Z. Marine Ecology[M]. Beijing: Science Press, 2002: 53.
- [2] 张均龙,史本泽,赵峰,等. 中国海洋底栖生物学发展回顾与展望[J]. 海洋科学集刊, 2016, 51: 194-204.
Zhang J L, Shi B Z, Zhao F, et al. Progress and prospect in marine benthology in China[J]. Studia Marina Sinica, 2016, 51: 194-

- 204.
- [3] Warwick R M, Platt H W, Somerfield P J. Free-Living Marine Nematodes[M]. Shrewsbury: Field Studies Council, 1998: 1-296.
- [4] Austen M C. Factors affecting estuarine meiobenthic assemblage structure: A multifactorial microcosm experiment[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1989, 130: 67-187.
- [5] 张志南, 周红, 于子山, 等. 胶州湾小型底栖生物的丰度和生物量[J]. *海洋与湖沼*, 2001(2): 139-147.
- Zhang Z N, Zhou H, Yu Z S, et al. Abundance and biomass of the benthic meiofauna in the northern soft-bottom of the Jiaozhou Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001(2): 139-147.
- [6] 张艳. 胶州湾典型站位小型底栖生物丰度和生物量的季节变化研究[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(17): 296-301.
- Zhang Y. A study on seasonal variation of abundance and biomass of meiofauna at the typical station in Jiaozhou Bay[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(17): 296-301.
- [7] 张艳. 胶州湾红岛泥滩小型底栖生物种类组成分析[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2013, 30(4): 300-303+308.
- Zhang Y. Studies on species composition of meiofauna in the muddy intertidal zone of Hongdao Jiaozhou Bay[J]. *Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science)*, 2013, 30(4): 300-303+308.
- [8] 杨世超, 慕芳红, 周红, 等. 2006年冬季胶州湾及邻近山东半岛南岸海域小型底栖动物丰度和生物量[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2009, 39(S1): 78-82.
- Yang S C, Mu F H, Zhou H, et al. abundance and biomass of the meiofauna in Jiaozhou Bay and southern coastal waters of Shandong Peninsula in winter 2006[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2009, 39(S1): 78-82.
- [9] 纪莹璐. 胶州湾西北部海域小型底栖动物生态学和自由生活海洋线虫群落结构研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- Ji Y L. Studies of Meiobenthic Ecology and Community Structure of Free-Living Marine Nematode in the Northwest Jiaozhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
- [10] Gao C, Liu X. Spatio-temporal distribution of meiofaunal assemblages and its relationship with environmental factors in a semi-enclosed bay[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 131: 45-52.
- [11] 高群. 胶州湾小型底栖动物生态学和自由生活线虫分类研究[D]. 聊城: 聊城大学, 2017.
- Gao Q. Studies on Meiofauna Ecology and Taxonomy of Free-Living Nematodes from the Jiaozhou Bay[D]. Liaocheng: Liaocheng University, 2017.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB17378. 5—2007 海洋监测规范第5部分: 沉积物分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB17378. 5—2007 The Specification for Marine Monitoring—Part 5: Sediment Analysis[S]. Beijing: China Standards Press, 2008.
- [13] Widbom B. Determination of average individual dry weight and ash-free dry weight in different sieve fractions of marine meiofauna[J]. *Marine Biology*, 1984, 84: 101-108.
- [14] 华尔. 长江口及其邻近海域小型底栖生物群落结构和多样性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- Hua E. Studies on Community Structure and Biodiversity of Meiofauna in the Changjiang (Yangtze River) Estuary and its Adjacent Waters[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006.
- [15] 刘晓收, 许嫒, 张敬怀, 等. 南海北部深海小型底栖动物丰度和生物量[J]. *热带海洋学报*, 2014, 33(2): 52-59.
- Liu X S, Xu M, Zhang J H, et al. Abundance and biomass of deep-sea meiofauna in the northern South China Sea[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2014, 33(2): 52-59.
- [16] 刘清河. 黄、东海交界海域小型底栖动物群落结构及底栖桡足类研究[D]. 青岛: 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所), 2019.
- Liu Q H. Study of the Meiofaunal Community Structure and Benthic Copepods in the Border of the Yellow Sea and East China Sea[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science, 2019.
- [17] 刘均玲, 袁超, 何永姑, 等. 东寨港红树林小型底栖动物丰度与Chl *a*、有机质的相关性[J]. *生态学报*, 2019, 39(1): 185-191.
- Liu J L, Yuan C, He Y G, et al. Correlation of meiofauna abundance with chlorophyll *a* and organic matter of Dongzhai Harbor Mangrove[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(1): 185-191.
- [18] 毛硕乾, 林霞, 罗杨, 等. 象山港小型底栖动物群落结构及其与环境因子的相关性[J]. *生态学报*, 2016, 36(5): 1442-1452.
- Mao S Q, Lin X, Luo Y, et al. Community structure of meiofauna and its correlation with environmental factors in Xiangshan Bay[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(5): 1442-1452.
- [19] 王家栋, 类彦立, 徐奎栋, 等. 黄海冷水团及周边海域夏初小型底栖动物现存量及空间分布研究[J]. *海洋与湖沼*, 2011, 42(3): 359-366.
- Wang J D, Lei Y L, Xu K D, et al. An investigation on the biomass, abundance and distribution of meiofaunal under the cold water mass and its surrounding areas of the Yellow Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(3): 359-366.
- [20] 范士亮, 王宗兴, 徐宗军, 等. 南黄海冬季小型底栖生物分布特征[J]. *海洋环境科学*, 2011, 30(2): 185-188.
- Fan S L, Wang Z X, Xu Z J, et al. Meiofauna distribution in Southern Yellow Sea in winter[J]. *Marine Environmental Science*, 2011, 30(2): 185-188.
- [21] 吴秀芹. 黄东海夏季小型底栖动物的群落结构与分布研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- Wu X Q. Community Structure and Distribution of Meiofauna in the Yellow Sea and East China Sea in Summer[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [22] 陈晨. 胶州湾底栖多毛类种类组成及其与环境关系的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2021.
- Chen C. The Studies on the Species Composition of Benthic Polychaete and Their Relationship with the Environment in Jiaozhou[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2021.
- [23] 周红, Saif M D Uddin, 黄梦娇, 等. 南海北部陆架和陆坡区小型底栖动物群落的比较研究[J]. *海洋与湖沼*, 2020, 51(3): 555-563.
- Zhou H, Saif M D Uddin, Huang M J, et al. Comparison in meiofaunal communities between shelf and slope of the Northern South China Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2020, 51(3): 555-563.

- [24] Raffaelli D G, Mason C F. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods[J]. Marine Pollution Bulletin, 1981, 12: 158-163.
- [25] Findlay S E G. Small-scale spatial distribution of meiofauna on a mudflat and sandflat[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1981, 12: 471-484.
- [26] Warwick R M. The Nematode/Copepod ratio and its use in pollution ecology[J]. Marine Pollution Bulletin, 1981, 12: 329-333.
- [27] Lamshead P J D. The Nematode/Copepod ratio some anomalous results from the Firth of Clyde[J]. Marine Pollution Bulletin, 1984, 15: 256-259.
- [28] 于婷婷. 黄东海小型底栖动物群落结构和线虫多样性及分布研究[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2014.
- Yu T T. Meiobenthic Community Structure as Well as Nematode Diversity and Distribution in the Yellow Sea and East China Sea [D]. Qingdao: Chinese Academy of Sciences(Institute of Oceanology), 2014.
- [29] 华尔, 张志南, 范士亮, 等. 利用小型底栖动物对沉积物重金属污染的评估[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(3): 429-436.
- Hua E, Zhang Z N, Fan S L, et al. Study on the use of meiofauna parameters to assess heavy metal pollution in sediments[J]. Periodical of ocean University of China, 2009, 39(3): 429-436.
- [30] 杜永芬, 徐奎栋, 孟昭翠, 等. 南海小型底栖动物生态学的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(2): 199-207.
- Du Y F, Xu K D, Meng Z C, et al. Spatial distribution of meiofauna in relation to environmental factors in the South China Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(2): 199-207.
- [31] 王彦国. 台湾海峡及其邻近海域小型底栖动物生态学研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2008.
- Wang Y G. Studies on Ecology of Meiofauna in the Taiwan Strait and Its Adjacent Waters[D]. Xiamen: Xiamen University, 2008.
- [32] 褚梦迪, 耿春晓, 陆洋, 等. 北部湾冬季潮间带小型底栖动物群落结构和自由生活海洋线虫多样性研究[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2022, 35(2): 89-97.
- Chu M D, Geng C X, Lu Y, et al. Study on the community structure of meiofauna and the diversity of free-living marine nematodes in the intertidal zone of Beibu Gulf in water[J]. Journal of Liaocheng University (Natural Science Edition), 2022, 35(2): 89-97.
- [33] 崔雯瑶. 胶州湾大型底栖动物生态学及摄食功能群研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2020.
- Cui W Y. The Studies on the Ecology and Functional Feeding Group of Macrobenthos in Jiaozhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2020.
- [34] 胡睿, 窦衍光, 邹亮, 等. 胶州湾海域表层沉积物重金属元素分布特征与风险评价[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(11): 11-21.
- Hu R, Dou Y G, Zou L, et al. Distribution pattern and risk assessment for heavy metals in the surface sediments of Jiaozhou Bay[J]. Marine Geology Frontiers, 2021, 37(11): 11-21.

Study on the Abundance, Biomass and Environmental Factors of Meiofauna in Jiaozhou Bay

Zhu Lin¹, Chen Chen¹, Yang Xiangjun², Cui Wenyao³, Shao Congcong¹,
Teng Ankang¹, Yu Zishan¹

(1. College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Marine Science Research Institute of Shandong Province, Qingdao 266100, China; 3. Kunming Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, China)

Abstract: In order to have a comprehensive understanding of meiofauna in Jiaozhou Bay, the taxon composition, abundance, biomass of meiofauna and their relationship with environmental variables were analyzed based on the data collected in Jiaozhou Bay from 15 stations of meiofauna and environmental factors in May of 2018. A total of 16 meiofauna taxa were found. Free-living marine nematodes were the most dominant taxon in terms of abundance and biomass. The average values of abundance and biomass of meiofauna were (89.689 ± 43.007) ind. $\cdot \text{cm}^{-2}$ and (104.652 ± 42.706) $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$, respectively, with all showing a trend of high in the northern part and low in the southern part in Jiaozhou Bay. The proportion of meiofauna in surface layer (0~2 cm), middle layer (2~5 cm) and bottom layer (5~8 cm) of sediment were 47.73%, 32.24% and 20.03%. The result of Pearson correlation showed that the meiofauna abundance, as well as nematodes and copepods abundance had significant positive correlation with Chl *a* content. Based on the abundance ratio of nematodes to copepods and other related research, the benthic environment in Jiaozhou Bay was undisturbed.

Key words: meiofauna; taxon composition; abundance; biomass; environmental factors; Jiaozhou Bay